

EFICIENCIA DE LA CAPACITANCIA Y ALTURA DE CANOPEO COMPRIMIDO (CON DISCO) PARA ESTIMAR BIOMASA FORRAJERA

J.L. DANELÓN¹; C.G. DAPUENTE¹; G. JAURENA¹; R. CANTET¹ y M.C. SAUCEDE¹

Recibido: 29/03/01

Aceptado: 18/10/01

RESUMEN

En pasturas de ciclo OIP de la Pcia. de Buenos Aires, entre marzo y setiembre se evaluó la hipótesis de que en relación al método directo (referencia) un sistema integrado por capacitancia y altura de canopeo comprimida por un disco, produciría mejores estimaciones de biomasa forrajera (BF) que por separado. Las estimaciones se evaluaron por regresión en doble muestreo. Los valores de referencia e indirectos, provenientes de muestras aleatorias y sujetas a error, se analizaron mediante un modelo de variables con error (EIV). Las regresiones simples entre referencia y capacitancia o disco, resultaron significativas ($P=0,004$) con coeficientes de determinación (r^2) menores a 3%. La regresión múltiple $Y(\text{BF, kg MS ha}^{-1}) = 694,0 + 0,38 X_1 (\text{capacitancia}) - 2,4 X_2 (\text{disco})$ resultó significativa ($P=0,042$) con un $r^2=21\%$. El modelo de EIV generó la ecuación $Y(\text{BF, kg MS. ha}^{-1}) = 303,98 + 0,753 X (\text{capacitancia})$, ($DE = 494,9 \text{ kg MS. ha}^{-1}$, $CV = 29,3\%$) para utilizarla de marzo a setiembre. La utilización conjunta de capacitancia y altura con disco mejoró las estimaciones de BF comparada con cada estimador individual, pero no en magnitud apreciable.

Palabras clave. Biomasa forrajera, capacitancia, disco, modelo de variables con error

EFFICIENCY OF CAPACITANCE AND HEIGHT OF CANOPY (HEIGHT WITH DISK) FOR HERBAGE MASS ESTIMATION

SUMMARY

The hypothesis that a system comprised by electronic capacitance and height with disk meter would produce better estimates of herbage mass (HM) than each method was tested from March to September on AWS pastures of Buenos Aires Province. The quality of estimates was tested by regression analysis in double sampling. Since reference values comes from random samples linked to error as indirect estimates, results were further analyzed by an error in variable model (EIV). Single regressions between reference, disk and capacitance were significant ($P=0.004$) with r^2 smaller than 3%. Multiple regression $Y(\text{HM, kg DM ha}^{-1}) = 694.0 + 0.38 X_1 (\text{capacitance}) - 2.4 X_2 (\text{disk})$ was significant ($P=0.042$) with $r^2=21\%$. The EIV model to be used from March to September was $Y(\text{HM, kg DM. ha}^{-1}) = 303.98 + 0.753 X (\text{capacitance})$, ($SD = 494.9 \text{ kg MS. ha}^{-1}$, $CV = 29.3\%$). Compared to individual indirect estimators, simultaneous use of capacitance and disk improved HM estimation although it is still unreliable.

Key words. Herbage mass, electronic capacitance, disk meter, error-in-variable model

INTRODUCCIÓN

La cantidad de forraje disponible por unidad de superficie o biomasa forrajera aérea (BF) es un dato crítico para determinar la oferta forrajera, realizar su presupuestación, y para evaluar los

efectos de distintas prácticas de manejo sobre las pasturas. La necesidad de contar con métodos de estimación de la BF precisos y de bajo costo es un tema clásico en la literatura de manejo de pasturas. La estimación se puede realizar en forma directa

¹Departamento Producción Animal, Facultad de Agronomía – UBA. Avda. San Martín 4453, C 1417 DSQ Buenos Aires. e-mail: jdanelon@mail.agro.uba.ar

mediante corte, secado y pesado del forraje presente en una superficie de muestreo conocida (usualmente de 0,20 a 1 m²) o en forma indirecta. El método directo, asumiendo un muestreo adecuado (suficiente superficie y número de puntos de muestreo) y una correcta técnica de corte, es el más exacto y usualmente tomado como referencia. Sin embargo, es un método destructivo (aspecto particularmente limitante cuando se evalúan superficies pequeñas), tedioso y costoso dado que demanda mucho tiempo y mano de obra. Además, para obtener una estimación confiable de la BF, la variabilidad propia de las pasturas exige tomar un elevado número de muestras lo que lo torna inaplicable en la práctica, especialmente cuando el objetivo es la producción comercial. En general, se considera que un método que requiere tomar un gran número de observaciones pero en forma rápida y sencilla al costo de una aceptable menor precisión, es preferible al más preciso método de referencia.

Por estas razones se desarrollaron métodos indirectos no destructivos, que estiman la BFA a través de la medición de alguna variable estadísticamente relacionada con aquella. El éxito de estos métodos depende de la simpleza y rapidez para la obtención de los registros, y de la exactitud y precisión de la relación entre la característica medida y la BF. En efecto, los parámetros estadísticos obtenidos con un estimador no deben ser sesgados (Haydock y Shaw, 1975) y a igual exactitud, el dato debe ser menos costoso de obtener que con el método directo.

El método del disco mide la altura del canopeo al ser comprimido por el peso de un disco (densidad volumétrica), variable que se relaciona con la BF. Se trata de un método indirecto sencillo, barato y objetivo (Castle, 1976).

Entre los equipos de este tipo disponibles se pueden mencionar el método STAC® (John Hegeman, comunicación personal) capaz de medir desde 600 hasta 1.200 kg MS/ha, o el HFRO® Sward Stick (Earle y McGowan 1979, Barthram 1986). Con el mismo principio de medición, existen dos formas de funcionamiento de estos instrumentos, en los que el disco siempre se desliza alrededor de un fuste o barral graduado. En un caso el disco cae al ser liberado desde una altura definida y constante hasta que es frenado por el forraje comprimido, o a la inversa, flota libremente y es "elevado" en el fuste por la BF.

Otra clase de instrumentos son los que basan su funcionamiento en la capacitancia electrónica, como

el MASS® (Massey Automated Sward Stick; Vickery, Bennett y Nicol-1980, o el Neal Electronic model 18-2000 Herbage Meter; Reese, Bayn y West - 1980). Capacitancia es la propiedad de un capacitor para almacenar una cierta cantidad de electricidad en función de su constante dieléctrica. La constante dieléctrica del aire seco es cero y aumenta a medida que aumenta la humedad del entorno. Los equipos miden los cambios de capacitancia producidos alrededor del instrumento al reemplazar el aire por el agua contenida en la BF. La capacitancia se correlaciona directa y positivamente con la cantidad de agua y solutos del contenido celular vegetal, por lo que no detecta material muerto (Tucker, 1980).

Con el disco algunos autores encontraron buenas correlaciones con el método de referencia (Santillán *et al.*, 1979; Castle 1976, Barnhart 1998). Otros sin embargo obtuvieron resultados pocos satisfactorios (Bransby *et al.*, 1977), variables entre diferentes estaciones del año (Earle y McGowan 1979; Michell 1982) y clases de canopeos (Michell, 1982).

Con la capacitancia también se han hallado dificultades (Jaurena y Danelón, 1992, datos no publicados), debido a la fuerte influencia de la humedad relativa ambiente, al contenido de materia seca del forraje, a la composición florística de las pasturas (Bryant *et al.*, 1971; Jones *et al.*, 1977; Reese *et al.*, 1980; Burnham, 1995 Comunicación Personal) o a la magnitud de los disturbios superficiales del suelo tanto naturales como por efecto del pisoteo de los animales (Reese *et al.*, 1980). En ambos métodos indirectos a arquitectura y los hábitos de crecimiento de las plantas inciden sobre los resultados (Barnhart, 1998).

Dado que estos dos métodos (densidad volumétrica y capacitancia) son individualmente sensibles a distintas características del suelo y de las pasturas que se relacionan positivamente con la BF, se hipotetizó que más allá de la evidente auto correlación, sería posible mejorar la estimación de la BFA a través de su uso en forma conjunta.

Esta clase de enfoque del que no se conocen antecedentes, es usualmente analizado mediante regresión para doble muestreo (Cochran, 1977) ya que es una técnica estadística bivariada (Alexander *et al.*, 1962). La estimación de los parámetros de regresión, simple o múltiple, a través de mínimos cuadrados exige cumplir dos condiciones. La primera es que el valor de la variable independiente (X) no esté sujeto a error. La segunda es que para cada valor de X, el valor de la variable dependiente

(Y) cumpla con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Chatterjee y Price, 1977). Si por el contrario, los valores de la variable independiente también son medidos con error, los parámetros estimados de la regresión serán sesgados respecto a los parámetros poblacionales (Ricker, 1984). En tales condiciones, la relación entre las variables y la estimación de los parámetros debería calcularse mediante un modelo de variables con error (EIV), (Madansky, 1959; Halperin, 1961), descripto por la siguiente función:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + (\epsilon - \beta_1 \phi)$$

donde

y = variable dependiente; β_0 = ordenada al origen; β_1 = Coeficiente de regresión; x = variable independiente; ϵ = error asociado a la variable dependiente y ϕ = error asociado a la variable independiente.

Este enfoque metodológico difiere del análisis de regresión convencional de mínimos cuadrados para doble muestreo, al permitir estimar en forma más realista, los parámetros del modelo lineal requeridos para predecir la BF.

El objetivo de éste trabajo fue investigar la aptitud del uso conjunto de la capacitancia y la altura con disco como estimadores de la BF. De particular interés fue el análisis estadístico a través del modelo de EIV, método que hasta el presente no parece haber sido aplicado en éste tipo de evaluaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Instrumentos

Se utilizó un disco formado por un fuste de acero de 1,20 m de longitud con un tope fijo en su extremo inferior (nivel = 0), provisto de una escala graduada a intervalos de 0,5 cm.

El disco propiamente dicho, consiste de un círculo de aluminio de 0,25 m² de superficie, que ejerce una presión de 5 kg/m². El disco está montado sobre un collar-corredora que le permite un libre desplazamiento a lo largo del fuste, manteniendo su posición paralela al suelo. Las mediciones de altura se tomaron liberando el disco desde 0,90 m (Bransby *et al.*, 1977)

La capacitancia se midió con un instrumento de fabricación neocelandesa (bastón de capacitancia; Grass-Master®, modelo "XGD00001 revisión 0"). A efectos de calibrar el instrumento, sólo se tomaron las lecturas de capacitancia.

Pasturas

Se trabajó con 13 pasturas de ciclo otoño-inverno-primaveral (OIP), de diferente composición, edad y estado fenológico, implantadas en siete establecimientos de 6 localidades de la provincia de Buenos Aires (Cañuelas, Facultad de Agronomía-UBA, Uribe Larrea, Chascomús, Bario y la EEA Balcarce del INTA). Las pasturas fueron evaluadas en 15 ocasiones durante seis meses (marzo, abril, mayo, julio, agosto y setiembre). Las pasturas consistieron en monocultivos de avena, cebada, raigrás anual, pasto ovillo y alfalfa; y polifíticas: de base alfalfa, con cebadilla, trébol blanco y trébol rojo; de base festuca, con trigo y raigrás anual; de base pasto o pasto riel, en diferentes proporciones y combinaciones; y naturalizadas: de gramón o de raigrás anual.

cedimientos

En cada pastura y ocasión de muestreo se seleccionaron 10 sitios equidistantes sobre transectas en zig-zag cubriendo la totalidad de cada potrero. Los sitios de muestreo se definieron con un marco cuadrado (0,25 m²) y en su interior se tomaron cinco lecturas de capacitancia uniformemente distribuidas en la superficie definida por el marco. Para evitar interferencias del metal con la lectura de capacitancia, el marco fue retirado al efectuar las mediciones con el bastón. A continuación, en el mismo sitio se midió la altura del canopeo con el disco y, por último, con una tijera eléctrica se cortó el forraje delimitado por el marco a ras del suelo. Finalmente, sobre toda la superficie de la pastura se tomaron 100 mediciones con el disco y con el bastón distribuidas a intervalos regulares sobre transectas en zig-zag que cubrieron toda la superficie a muestrear.

Las muestras de forraje fueron individualmente identificadas, secadas (36 h a 105° C) y pesadas. Los resultados se expresaron en kg MS/ha.

Análisis estadístico

Los datos fueron ajustados por regresión (PROC. REG, SAS® 1996) utilizando como variables explicativas las medidas obtenidas con cada instrumento (capacitancia y altura), y como variable respuesta la BF (kg MS/ha). Con el objeto de verificar la hipótesis de que empleando ambos métodos en forma simultánea (capacitancia y altura) la capacidad predictiva de la BF sería superior al de regresiones simples de doble muestreo, se ajustaron los datos al siguiente modelo de regresión múltiple:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = BF de referencia, en kg MS/ha; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ parámetros de regresión múltiple correspondientes a la constante y a coeficientes de regresión parcial para x_1 y x_2 ; X_{1i} = lectura de capacitancia (adimensional) y X_{2i} = altura del canopeo con disco (cm).

Dado que la relación entre las lecturas de capacitancia y la BF puede verse alterada debido al contenido de materia seca (%MS) del forraje, se ajustó otro modelo de regresión múltiple incorporando al %MS como segunda variable independiente.

El modelo de EIV fue ajustado según Madansky (1959) utilizando el módulo matricial interactivo PROC.IML (SAS® 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación de la BF a través de regresiones simples utilizando la altura o la capacitancia como variables independientes mostró ajustes pobres (Cuadro N° 1). Aunque dichos modelos resultaron significativos ($P=0,004$), los coeficientes de determinación (r^2) en ninguno de los dos casos superaron el 3%. Resultados semejantes se obtuvieron analizando los datos según otros criterios de clasi-

ficación. Al utilizar la altura de canopeo como variable explicativa (Cuadro N° 2), sólo en las pasturas del período julio-agosto-setiembre, el modelo resultó significativos ($P=0,04$) con r^2 de 34%. Inversamente, en las evaluaciones con capacitancia, (Cuadro N° 3) solo el modelo para las pasturas del mismo período antes mencionado resultó no significativo ($P>0,05$). Sin embargo el mayor r^2 fue de 22%. Considerando todas las pasturas, las estimaciones por capacitancia fueron un 20,5% superiores a las realizadas con el disco. Sólo en el caso de pasturas monofíticas, la capacitancia estimó un 13% menos que el disco.

En el caso particular de las pasturas de alfalfa, si bien ninguno de los instrumentos estimó adecuadamente su BF, la diferencia entre ambos fue de sólo un 5,8%. En general estos resultados son coincidentes con los informados por Rubio *et al.*, (2001).

Cuadro N° 1. Modelos de regresión desarrollados para estimar la biomasa forrajera (Y, kg MS/ha) con todos los datos. Altura de canopeo en cm.

β_0 (EE ¹), kgMS/ha	β_1 (EE, P 0 ²) \times Xi	P>F	r^2 (%)
1686 (178,7)	5,81 (16,36, P = 0,72) \times Disco	0,0045	0,2
2032 (236,9)	- 0,2 (0,13, P = 0,1987) \times Capacitancia	0,004	3
694,0 (155,0)	0,38 (0,09) \times Capacitancia - 2,4 (10,09) \times Disco	0,042	21
808 (558,8)	0,3 (0,16) \times Capacitancia - 2,5 (10,53) \times %MS	0,0002	22
1748 (264,7)	8,1 (11,17) \times Disco - 15,8 (6,24) \times %MS	0,019	9
818 (386,5)	0,3 (0,11) \times Capacitancia - 2,4 (10,98) \times Disco - 2,5 (7,22) \times %MS	0,007	20

1: Error estándar; 2: probabilidad que β_1 sea diferente de cero.

Cuadro N° 2. Modelos de regresión desarrollados para estimar la biomasa forrajera (Y, kg MS/ha; X, altura con disco, cm).

Item	β_0	EE ¹	β_1	$P\beta_1 \neq 0$	Modelo		
					EE ¹	P>F	r^2 , %
Todas MAM ³	1692,3	222,6	5,88	0,05	1,14	NS	22
Todas JAS ⁴	1678,7	245,8	2,87	0,03	0,39	0,04	34
Monofíticas	1106,3	166,5	0,46	NS	2,07	NS	4,6
Polifíticas	1692,9	178,9	2,88	NS	6,35	NS	18,8
Alfalfa	1904,3	236,6	1,36	NS	8,07	NS	16

1: Error estándar; 2: Probabilidad de β_1 distinto de cero; 3: Promedio de todas las pasturas en el período marzo-abril-mayo;

4: Promedio de todas las pasturas en el período julio-agosto-setiembre

Cuadro N° 3. Modelos de regresión desarrollados para estimar la biomasa forrajera (Y, kg MS/ha; X, capacitancia).

Item	β_0	EE ¹	β_1	$P\beta_1 \neq 0$	Modelo		
					EE ¹	P>F	r ² , %
Todas MAM ³	2029,1	88,76	0,3475	0,02	0,87	0,003	3,5
Todas JAS ⁴	2065,4	166,80	-0,1619	NS	0,44	NS	12,0
Monofíticas	963,7	135,40	4,45	0,08	0,22	0,002	22,0
Polifíticas	1988,6	88,70	1,872	0,02	1,21	0,05	14,0
Alfalfa	2015,4	215,7	-0,162	0,1	7,46	0,08	2,6

1: Error estándar; 2: Probabilidad de β_1 distinto de cero; 3: Promedio de todas las pasturas en el período marzo-abril-mayo; 4: Promedio de todas las pasturas en el período julio-agosto-setiembre

En trabajos similares realizados en EE.UU. con pasturas mixtas, Barnhart (1998) también obtuvo resultados variables e inconsistentes y Rayburn (1997) trabajando en pasturas mixtas de Virginia (EE.UU.), obtuvo un r^2 de 61%. En cambio, Cosgrove y Undersander (1999) en Wisconsin (EE.UU.) en pasturas puras de gramíneas (*Bromus* y pasto ovillo o panizo azul) y mixtas en base alfalfa con trébol blanco y trébol rojo, obtuvieron un $r^2 = 92\%$.

El ajuste por regresión múltiple de los resultados de BF con ambos procedimientos indirectos en forma conjunta resultó estadísticamente significativo ($P = 0,042$) pero el r^2 fue de apenas 21%.

Debido a la influencia del %MS sobre la capacitancia, el impacto de esa variable fue analizado por regresión múltiple. Las variables fueron las lecturas de capacitancia y %MS, la altura con disco y %MS y finalmente capacitancia, altura y %MS de cada muestra, respectivamente. Las dos primeras regresiones resultaron significativas ($P = 0,019$ a $0,002$), con $r^2 = 21,6\%$ y $9,05\%$, respectivamente.

El mismo análisis utilizando capacitancia y altura con disco incluyendo al %MS, produjo una regresión significativa ($P < 0,007$) y un r^2 de 20%.

El modelo de EIV siguiendo la metodología de Madansky (1959) (PROC IML, SAS 1996) resultó:

$$Y \text{ (kg MS. ha}^{-1}\text{)} = -756 \text{ (EE. 0,48)} + \\ + 1,86 \text{ (EE 0,096)} \times \text{Capacitancia}$$

$$(\text{DE} = 494,9 \text{ kg MS. ha}^{-1}, \text{CV} = 29,3\%)$$

Debido a que con dicho modelo no se puede calcular el coeficiente de determinación, la precisión de las estimaciones futuras se calculó mediante el DE (Crosbie *et al.*, 1987) para un rango de 800 a 3000 kg MS.ha⁻¹ de BF (PROC IML, SAS 1996®). Los ajustes de regresión obtenidos en este trabajo fueron peores que los reportados en bibliografía. Aunque las pasturas utilizadas fueron de la misma clase que las empleadas aquí, (esencialmente tipo OIP) en aquéllas (Rayburn, 1997; Barnhart, 1998; Cosgrove y Undersander, 1999). los instrumentos se calibraron durante la estación de crecimiento activo (desde primavera temprana) en tanto que en el presente, se trabajó desde el otoño hasta inicios de primavera. Otro factor que podría explicar la diferencia de precisión entre los resultados publicados y los obtenidos con el disco, es el estado de las pasturas en el momento de realizar las observaciones. En este estudio, las pasturas tenían en muchos casos abundante material muerto acumulado, sin evidencia consistente de haber recibido cortes de limpieza posteriores al pastoreo. El dato de altura del canopeo con disco, es función del material presente en el momento de la medición.

Algunas de las pasturas evaluadas mostraban un predominio de macollos residuales encañados, donde el disco midió una altura (y por tanto una densidad volumétrica) no representativa de la verdadera BF. La presencia de especies planófilas ubicadas bajo la altura del canopeo no ejercen el mismo efecto que las más erectas o encañadas en cuanto a la resistencia que ejercen sobre el disco. Minson, 1990) en mediciones similares (aunque se

desconoce la clase de disco utilizado) encontró que a alturas de canopeo comprimido entre 4,8 cm y 6,2 cm le correspondieron BF de 2.400 y 3.000 kg MS/ha, respectivamente. Asimismo, la tabla de calibración de la Universidad de Iowa (Barnhart, 1998) sugiere que por cada cm de altura entre 1,3 y 50,8 cm, la BF aumenta a razón de 45,2 kg MS/ha para un rango entre 100 y 2300 kg MS/ha.

Comparado con el método de referencia, la capacitancia tampoco demostró un grado de precisión aceptable. La hipótesis de emplear ambos métodos indirectos en forma simultánea mejoró las estimaciones de BF respecto a los estimadores individuales, pero no en magnitud apreciable como para ganar en confiabilidad.

Reese *et al.*, (1980) al evaluar estimadores de BF por doble muestreo, encontraron que el principal factor que afectaba las mediciones de capacitancia era la variación en el número promedio de plantas dentro de cada cuadrado de muestreo (aspecto no evaluado en este trabajo), y que cuando las variaciones eran moderadas (ni altas ni bajas) se obtenían los mejores resultados. Reese *et al.*, (1980) encontraron además, que el error aumentaba a medida que se tendía a la condición monofítica. La aparentemente ilógica performance de la capacitancia para evaluar pasturas con moderada diversidad de especies y con diferencias de BF entre cuadrados, podría deberse a limitaciones propias del análisis de regresión en doble muestreo. Esta debilidad del análisis de regresión frente a la variabilidad de los datos del doble muestreo, ejerce el impacto más importante sobre las estimaciones de los métodos indirectos. Según Cochran, 1977) y (Reese *et al.*, 1980), la utilización de muestras de referencia de pequeño tamaño (0,25 m²), tiende a sesgar los resultados cuando esas muestras no logran reflejar la magnitud de la variabilidad que sí

puede detectar la capacitancia al poder evaluar (muestrear) todo un lote. Los autores citados en segundo término encontraron que debido a que la constante dieléctrica del agua es 32 veces mas grande que la de la MS, el contenido de humedad (agua) de la BF se correlacionaba mejor con la capacitancia que el peso de la MS (variable utilizada en el presente trabajo).

En cuanto al modelo de EIV, si bien no es comparable al clásico análisis de regresión con doble muestreo, a diferencia de éste, tiene la ventaja de considerar a ambos estimadores con error, y por ello tiende a reducir el valor absoluto del parámetro β en función de la variable X, lo que en definitiva lo hace mas confiable (Cantet, 2001, comunicación personal).

En conclusión:

En las condiciones en que se realizó el presente trabajo, la utilización conjunta de capacitancia y altura del canopeo comprimida por el disco al ser analizado por regresión para doble muestreo, no produjo estimaciones más confiables ni más precisas que el método de cortes y pesadas mejoró las estimaciones de BF comparada con las obtenidas con cada método por separado, pero no en magnitud apreciable.

El modelo de análisis de EIV aparece como promisorio para este tipo de estudios, y amerita ser comparado en cuanto a su eficiencia con el modelo de regresión clásico.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación "Pedro F. Mosoteguy" por el apoyo financiero para realizar el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, C.W.; J.T. SULLIVAN and D.E. MCCLOUD. 1962. A method for estimating forage yields. *Agron. J.* 54: 468-469.
- BARNHART, S.K. 1998. Estimating Available Pasture Forage. Iowa State University Extension Service. College of Agriculture. Publication PM 1758, June 1998. 5pp.
- BARTHAM, G.T. 1986. Experimental Techniques: The HFRO sward stick. Hill Farming Research Org. Biennial Report 1984-1985. pp.29-30.
- BRANSBY D. I.; A.G. MATCHES and G.F. KRAUSSE. 1977. Disk meter for rapid estimation of herbage yield in grazing trials. *Agron. J.* 69: 393-396.
- BRYANT, A.M.; O.F. PARKER; M.A. COOK and M.J. TAYLOR. 1971. An evaluation of the performance of the capacitance meter for estimating the yield of dairy pasture. *Proc. New Zealand Grassld. Cong.* 33:839-849

- CASTLE, M.E. 1976. A simple disc instrument for estimating herbage yield. *J. Brit. Grassld Soc.* 31: 37-40.
- CHATTERJEE, S. and B. PRICE. 1977. Regression Analysis by Example. J. Wiley & Sons. New York. 228pp.
- COCHRAN, W.G. 1977. Sampling techniques. 3rd ed. Wiley, New York. 428pp.
- COSGROVE, D. and D. UNDERSANDER. 1999. Evaluation of a simple method for measuring Pasture Yield. Proceedings of Wisconsin Forage Council Annual Symposium. www.uwex.edu/ces/forage/wfc/COSGROVE.html.
- CROSBIE, S.F.; B.M. SMALLFIELD; H. HAWKER; M.J. FLOATE; J.M. KEOGHAN; P.D. ENRIGHT and R.J. ABERNETHY. 1987. Exploiting the pasture capacitance probe in agricultural research: a comparison with other methods of measuring herbage mass. *J. Agric. Sci. Camb.* 108: 155-163.
- EARLE, D.F. and A.A. Mc GOWAN. 1979. Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 19: 337-343.
- HALPERIN, M. 1961. Fitting of straight lines and prediction when both variables are subject to error. *J. Am. Stat. Assoc.* 56: 657-669.
- HAYDOCK, K.P. and N.H. SHAW. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 15: 663-670.
- HOGDSON, J. 1991. Grazing Management. Science into practice. Longman Group, UK. J. Hogdson Ed. Chapt. 10. P. 89.
- JONES, R.M.; R.L. SANDLAND and G.A. BUNCH. 1977. Limitations of the electronic capacitance meter in measuring yields of grazed pastures. *J. Brit. Grassl. Soc.* 32:105-113
- MADANSKY, A. 1959. The fitting of straight lines when both variables are subject to error. *J. Am. Stat. Assoc.* 54: 173-205.
- MEIJIS, J.A.C. 1981. Herbage intake by grazing dairy cows. PhD Thesis. Institute for Livestock Feeding and Nutrition Research, Lelystad. Univ. of Wageningen. 264pp.
- MICHELL, P. 1982. Value of a rising-plate meter for estimating herbage mass of grazed perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Sci.* 37: 81-87.
- MINSON, D.J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Queensland, Australia. T. Cunha Ed. Chapt. 4, p.68.
- NEAL, D.L.; P.O. CURRIE and M.J. MORRIS. 1976. Sampling herbaceous native vegetation with an electronic capacitance instrument. *J. Range Managmt.* 29: 74-77.
- RAYBURN, E.B. 1997. An acrylic pasture weight plate for estimating forage yield. West Virginia University Extension Service. www.caf.wvu.edu/~forage/pastplate.htm
- REESE, G.L.; R.L. BAYN and N.E. WEST. 1980. Evaluation of Double-sampling Estimators of Subalpine Herbage Production. *J. Range Managmt.* 33(4):300-306.
- RICKER, W.E. 1984. Computation and uses of central trend lines. *Can. J. Zool.* 62(10):1897-1905.
- RUBIO, R.; D. DALLA VALLE; G. CALAFATICH; C. INZA y M. WADE. 2001. Evaluación de biomasa y crecimiento de pasturas en el S.E. de la Pcia. de Buenos Aires. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 21(Sup.1):229-230.
- TUCKER, C.J. 1980. A critical review of remote sensing and other methods for non-destructive estimation of standing crop biomass. *Grass and Forage Sci.* 35: 177-182
- VICKERY, P.J.; I.L. BENNETT and G.R. NICOL. 1980. An improved electronic capacitance meter for estimating herbage mass. *Grass and Forage Sci.* 35:247-52.